

УДК 69.001.5:697.1 EDN: PPLEJO
DOI: 10.5281/zenodo.8122431

КОЧЕТКОВА Яна Александровна

*Российский государственный университет туризма и сервиса (Москва, РФ)
старший преподаватель; e-mail: jana.sirtenk@yandex.ru*

КУДРОВА Елена Геннадьевна

*Российский государственный университет туризма и сервиса (Москва, РФ)
преподаватель колледжа; e-mail: kryanina.elena@yandex.ru*

ЗАРУБЕЖНЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ И ИХ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Около 36% выбросов парниковых газов в ЕС приходится на строительство зданий и использование энергии в них. Чтобы снизить энергопотребление в зданиях, необходимо внедрять более энергоэффективные технологии. Однако существуют барьеры на пути внедрения энергоэффективных технологий. Наиболее заметными препятствиями на пути внедрения энергоэффективных технологий считаются инертность, риск, доступ к капиталу и недостаток знаний. Чтобы расширить внедрение энергоэффективных технологий в зданиях, необходимо расширять знания во всей отрасли, а заинтересованным сторонам необходимо консолидироваться на всех этапах создания энергоэффективной жилой среды. Сокращение количества выбросов парниковых газов имеет первостепенное значение для смягчения последствий глобального потепления. Для снижения выбросов от зданий необходимо как снижение выбросов на этапе строительства, так и снижение энергопотребления на этапе эксплуатации здания. Потребление энергии на этапе эксплуатации здания зависит от нескольких различных факторов, таких как поведение жильцов, теплофизические свойства здания, технические детали конструкции, климат, а также техническое обслуживание и качество систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Чтобы здания стали более энергоэффективными, необходимо учитывать все эти аспекты. В статье проанализирован опыт США и стран Евросоюза, которые ведут активные инновационные разработки в сфере энергоэффективного строительства и модернизации существующих зданий с целью повышения их энергосберегающего ресурса.

Ключевые слова: энергоэффективность, декарбонизация, инновации, строительный сектор, модернизация зданий, инженерные системы, зарубежные страны



Для цитирования: Кочеткова Я.А., Кудрова Е.Г. Зарубежные инновационные технологии в области повышения энергоэффективности зданий и их инженерных систем // Сервис в России и за рубежом. 2023. Т.17. №2. С. 196–204. DOI: 10.5281/zenodo.8122431.

Дата поступления в редакцию: 23 марта 2023 г.

Дата утверждения в печать: 15 мая 2023 г.

Iana A. KOCHETKOVA

Russian State University of Tourism and Service (Moscow, Russia)
Senior Lecturer; e-mail: jana.sirtenk@yandex.ru

Elena G. KUDROVA

Russian State University of Tourism and Service (Moscow, Russia)
College Teacher; e-mail: kryanina.elena@yandex.ru

FOREIGN INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS AND THEIR ENGINEERING SYSTEMS

Abstract. About 36% of greenhouse gas emissions in the EU are accounted for by the construction of buildings and the use of energy in them. To reduce energy consumption in buildings, it is necessary to introduce more energy-efficient technologies. However, there are barriers to the introduction of energy-efficient technologies. Inertia, risk, access to capital and lack of knowledge are considered the most noticeable obstacles to the introduction of energy-efficient technologies. In order to expand the implementation of energy-efficient technologies in buildings, it is necessary to expand knowledge throughout the industry, and stakeholders need to consolidate at all stages of creating an energy-efficient residential environment. Reducing greenhouse gas emissions is of paramount importance to mitigate the effects of global warming. To reduce emissions from buildings, it is necessary both to reduce emissions during the construction phase and to reduce energy consumption during the operation of the building. Energy consumption during the operation phase of a building depends on several different factors, such as the behavior of residents, the thermophysical properties of the building, the technical details of the structure, the climate, as well as the maintenance and quality of heating, ventilation and air conditioning systems. For buildings to become more energy efficient, it is necessary to take into account all these aspects. The article analyzes the experience of the USA and the EU countries, which are actively developing innovative developments in the field of energy-efficient construction and modernization of existing buildings in order to increase their energy-saving resource.

Keywords: energy efficiency, decarbonization, innovation, construction sector, modernization of buildings, engineering systems, foreign countries



Citation: Kochetkova, I. A., & Kudrova, E. G. (2023). Foreign innovative technologies in the field of increasing the energy efficiency of buildings and their engineering systems. *Servis v Rossii i za rubezhom [Services in Russia and Abroad]*, 17(2), 196–204. doi: 10.5281/zenodo.8122431.

Article History

Received 23 March 2023

Accepted 15 May 2023

Disclosure statement

No potential conflict of interest
was reported by the author(s).

© 2023 the Author(s)

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Введение и актуальность

Здания потребляют 40% от общего количества расходуемой энергии в ЕС и генерируют 36% парниковых газов в Европе¹. Строительный сектор находится на решающем пути декарбонизации к 2050 г., сократив выбросы CO₂ как минимум на 80% и потребление энергии на целых 50%. Поскольку коэффициент замещения существующего оборудования очень мал (1–2% в год), срочно необходимо ускорение [2]. Одновременно это открывает уникальную возможность для устойчивого роста бизнеса при условии, что продукты и сопутствующие услуги как для новых, так и для модернизированных зданий доступны по цене и отличаются долговечным качеством в соответствии с европейскими стандартами.

В строительной отрасли существует разрыв в энергетических показателях. Причины этого можно разделить на три категории: проектирование, строительство и использование². Одной из наиболее распространённых проблем является разница между рассчитанным/смоделированным потреблением энергии на этапе проектирования по сравнению с фактическим потреблением энергии готовым зданием. Существует также разрыв в энергоэффективности между оптимальным и фактическим уровнями энергопотребления, который возникает, когда не используются экономически эффективные меры.

Существует множество причин, по которым не внедряются экономически эффективные и энергоэффективные технологии. Это может быть связано с низким уровнем осведомлённости жителей зданий, отсутствием технической компетентности, демографией и экономическими барьерами, такими как длительный срок окупаемости [1].

Таким образом, строительный сектор

может привести к значительному сокращению выбросов CO₂ и экономии энергии, а также к достижению целей в области замедления изменения климата.

Энергоэффективность в зданиях играет стратегическую роль во многих энергетических политиках стран. Отопление, кондиционирование и сокращение теплопотерь зданий имеют решающее значение для реализации потенциала энергосбережения зданий [5]. Технологии возобновляемых источников энергии недостаточно развиты в этой области; если бы они были внедрены, они бы чрезвычайно помогли сократить выбросы CO₂. Общественность занимает центральное место в этом подходе к энергоэффективности, поскольку характеристики зданий влияют на качество повседневной жизни людей. В среднем человек проводит более 90% своего времени в помещении. В этом контексте национальные стратегии предоставляют возможности для дальнейшего развития и сотрудничества.

Опыт Соединённых Штатов Америки

В 2021 г. Министерство энергетики США объявило о выделении почти 83 млн USD на финансирование 44 проектов, которые позволят снизить счета американцев за электроэнергию за счёт инвестиций в новые энергоэффективные строительные технологии, методы строительства и рабочую силу строительного сектора США. Управление строительных технологий Министерства энергетики США на конкурсной основе выбрало эти проекты из объявления о возможности финансирования в области энергоэффективности зданий и инновационных технологий³.

Обязательства по разработке инновационных энергоэффективных были возложены на крупнейшие университеты. Группа экспертов оценивала представленные проекты и выби-

¹ European commission. Energy-efficient buildings Multi-annual roadmap for the contractual PPP under Horizon 2020. Luxembourg: Publications Office of the EU. 2013. 141 p. ISBN 978-92-79-31239-7.

² European commission. Energy efficiency in buildings. SET Plan Progress Report 2020. Aligning activities and targets with the renovation wave program. European Union. 2021. 4 p. JRC124329.

³ BTO Announces its Buildings Energy Efficiency Frontiers & Innovation Technologies (BENEFIT) Selections, 2021. URL: <https://www.energy.gov/eere/buildings/articles/bto-announces-its-buildings-energy-efficiency-frontiers-innovation>

рала наиболее перспективные в разных сферах, относящихся к строительству новых зданий или модернизации уже построенных. Среди таких проектов можно выделить:

- разработка гибридного метода производства на основе клея для теплообменников нового поколения типа «воздух-хладагент». Эти теплообменники будут на 50% дешевле и потреблять на 36% меньше энергии в производстве, что делает их идеальными для использования в доступных тепловых насосах³;

- разработка устройства для накопления тепловой энергии, в котором используется композит гидрогель/соль для достижения высокой плотности энергии, низких затрат и потенциала масштабируемого производства. Это устройство может быть интегрировано с системами ОВКВ, водяного отопления или другими системами для обеспечения экономии энергии и гибкости загрузки здания;

- разработка нового термохимического абсорбирующего материала для накопления энергии путём встраивания основы из наноцеллюлозы с гигроскопичной солью. Этот материал послужит основой для экономичных и высокоэффективных систем хранения тепловой энергии и потенциально может быть использован в других областях, таких как адсорбционное охлаждение;

- разработка интегрированного теплового насоса и системы аккумулирования тепловой энергии, которые могут обеспечивать аккумулирование тепловой энергии как для отопления, так и для охлаждения и обеспечивать идеальную производительность в течение всего года, независимо от условий на улице. Эта система может обеспечить сокращение потребления более чем на 50% в часы пик в коммерческих зданиях³;

- разработка новой системы кондиционирования воздуха, основанной на новом методе охлаждения с помощью нового типа ионной мембраны. Благодаря своей уникальной компоновке предлагаемая система может потреблять на 50–85% меньше энергии, чем традиционные системы кондиционирования

воздуха, самостоятельно вырабатывать воду и оставаться высокоэффективной во влажном климате;

- объединение термоэлектрического теплового насоса с тепловым насосом «воздух-воздух», создавая систему с повышенной эффективностью и теплопроизводительностью при низких температурах наружного воздуха, при низкой стоимости [4]. В рамках проекта будет разработан и продемонстрирован тепловой насос и измерена его экономия энергии;

- создание новой методологии проектирования, которая применяет автоматизацию светильников и аддитивное производство для оптимизации светодиодного освещения. Эта методология позволит производителям сократить количество деталей и производить светодиодную продукцию на заказ, избегая при этом некоторых затрат и длительного времени выполнения заказа при традиционном производстве;

- разработает не содержащие кадмия преобразователи цвета, которые будут достаточно надёжными, чтобы выдерживать типичные условия эксплуатации осветительных приборов. Эти преобразователи обеспечат более широкую цветовую гамму в освещении, улучшая самочувствие жильцов;

- обновит самые современные программные средства для проектирования освещения, основанные на результатах лабораторных и практических исследований, чтобы использовать возможности полупроводниковых технологий освещения и их взаимодействие с жилой средой;

- разработка производственного процесса для высокоточного размещения светодиодов на рулонах гибкого пластика с помощью платформы для освещения зданий, состоящей из тонких, гибких листов твердотельных светоизлучающих диодов (LED), которые являются более эффективными, доступными и лёгкими, чем современные схемы для освещения на органических светодиодах. В этих рулонах также будет представлена распределённая электроника по всей системе освещения для

оптимизации энергоэффективности и функциональности;

- разработка системы измерения эффективности применения освещения, взаимосвязи между электрической мощностью, потребляемой осветительным оборудованием, и количеством генерируемого света, полезного для жильцов здания;

- производство долговечных белых органических светодиодов (OLED), создание технологии, позволяющей продлить срок службы самого короткоживущего компонента – синих OLED-светодиодов – до 50 000 часов работы или более;

- разработка светодиодов с повышенной энергоэффективностью для решения давних проблем, препятствующих высокоэффективному полупроводниковому освещению со смешанными цветами;

- использование данных приборов, термостатов и метеостанций для подготовки модели автоматического прогнозирования нагрузок устройств и выполнения управления нагрузкой на основе модели прогнозирования;

- создание системы проверки и аккредитации для стандартизации шаблонов метаданных в эффективных зданиях, с взаимодействием с сетями и платформами информационных систем управления энергопотреблением;

- подтверждение эффективности приборов, интегрированных в батареи, для распределения электрических нагрузок на коммунальные сети при высоком спросе;

- разработка аспектов сотрудничества с компаниями-застройщиками и поставщиками ресурсов для разработки экономически эффективных решений для домов с нулевым энергопотреблением;

- производство динамических окон⁴ децентрализованным способом, что позволит

экономить за счёт масштаба, а это приведёт к снижению стоимости динамических стёкол и даст им возможность получить широкое распространение;

- разработка новых вакуумных теплоизоляционных панелей с новой структурой, состоящей из недорогой нанопористой древесной щепы. Новые панели могут обеспечить высокую общую изоляцию, минимизировать потери на кромках и увеличить срок службы изоляции;

- разработка изоляционной плиты из нанокompозита с использованием высокопроизводительных и недорогих процессов, в результате чего общая стоимость станет ниже, чем у существующих изоляционных материалов. Планируется использовать эту изоляцию при производстве пассивных домов в холодном климате, улучшая эксплуатационные характеристики и снижая воспламеняемость и выбросы вредных веществ;

- разработка, создание прототипа, тестирование и оценка высокоэффективной модернизации жилых стен, которая может обеспечить предполагаемую экономию энергии на отопление и охлаждение на 30% и более [3]. Модернизация включает в себя двухкомпонентную барьерную систему, которая противостоит перепадам температур воздуха и воды; переработанное оконное обрамление; и высокопроизводительное штормовое окно⁵, которое дополняет, а не заменяет обычные окна;

- разработка готовых к выходу на рынок динамических окон, изготовленных с обратимым электроосаждением металла. Этот процесс намного дешевле, чем современные методы производства динамических окон, и потенциально может снизить стоимость динамических окон более чем на 50%³;

- разработка тонкоплёночных монолитных мезопористых метаматериалов, которые

⁴ Динамические окна — это класс окон с регулируемой прозрачностью, которые позволяют пользователям лучше контролировать поток света и тепла, проходящего через них

⁵ Штормовые окна — это окна, которые монтируются снаружи или внутри основных стеклянных окон дома. Штормовые окна существуют в Северной Америке, но редко встречаются в континентальной Европе, где широко распространено двойное, тройное или четверное остекление.

могут быть применены для новых решений по остеклению сверхвысокой эффективности. Эти материалы могут быть использованы для изготовления окон с изоляционными свойствами, равными или превосходящими обычные стены, что позволяет зданиям использовать дневное освещение без ущерба для тепловой эффективности.

Огромное внимание уделяется вопросам образования будущих специалистов и повышения квалификации кадров, работающих в сфере строительства или обслуживания зданий. В этой сфере предлагается множество проектов, наиболее перспективными из которых являются:

- разработка программы непрерывного образования по проектированию, строительству и интеграции оборудования для выработки солнечной энергии в конструкцию здания. Программа объединит заинтересованные стороны солнечной и строительной отрасли для продвижения архитектурных инноваций в области солнечной энергетики и их внедрения;

- разработка новой учебной программы для подготовки специалистов по ОВКВ в области проектирования, установки и обслуживания тепловых насосов в существующих жилых и небольших коммерческих зданиях;

- создание консорциума из нескольких учреждений для разработки учебных программ по строительной инженерии, включая получение навыков в области программирования, а также обучение использованию современных технологий моделирования;

- разработка учебной программы колледжа продвинутого уровня по технологиям интеллектуального строительства для архитектурного проектирования и другим программам, связанным со строительными технологиями. На курсе будут использоваться практические инструменты, включая моделирование энергопотребления зданий, а также интегрированный стенд для тестирования энергопотребления и контроля здания с системой автоматизации малого масштаба, чтобы научить проектированию, контролю, интеграции и

взаимодействию с распределёнными энергетическими ресурсами и сетью;

- разработка учебных материалов по энергоэффективным системам зданий, таким как тепловые насосы, водонагреватели с тепловыми насосами, системы зарядки электромобилей и системы хранения аккумулированной энергии. Эти ресурсы помогут сотрудникам научиться информировать потребителей о преимуществах этих технологий;

- разработка учебной программы по проектированию и строительству высокоэффективных, энергоэффективных жилых зданий. Учебная программа предоставит студентам междисциплинарные знания в области строительства и устранил пробелы в навыках эффективного строительства зданий.

Опыт Евросоюза

Созданная в 2016 г. рабочая группа по повышению энергоэффективности зданий работает над раскрытием потенциала энергосбережения строительного сектора¹. Группа включает в себя специалистов из ряда европейских стран, среди которых Австрия, Бельгия, Франция, Германия, Ирландия, Италия, Нидерланды и другие. Задачи группы включают в себя повышение потенциала существующих и новых зданий. Для достижения этого рабочая группа разделена на две подгруппы:

- 1) новые материалы и технологии для энергоэффективных решений для зданий;
- 2) комплексные технологии отопления и охлаждения зданий.

Рабочая группа по энергоэффективности в зданиях играет важную роль в:

- определении мер, необходимых для достижения целевых показателей энергоэффективности в строительном секторе;
- определении текущих проектов;
- необходимости предлагать новые мероприятия.

Европейская комиссия в сотрудничестве с Руководящей группой SET Plan и заинтересованными сторонами подготовила список целевых показателей исследований и инноваций для каждой подгруппы². Эти цели направлены

на продвижение высокоэффективных материалов и технологических решений для повышения энергоэффективности зданий.

Согласованы конкретные цели:

- сокращение потребления первичной энергии в зданиях в среднем на 60% при одновременном снижении общей стоимости владения и ограничении срока окупаемости до 10 лет [3];

- разработка и демонстрация готовых решений для снижения затрат на строительство и обслуживание зданий с почти нулевым энергопотреблением или зданий с положительной энергией по крайней мере на 10% по сравнению с их затратами в 2015 г., с целью достижения снижения затрат на 15%¹;

- разработка и демонстрация готовых решений для сокращения средней продолжительности строительных работ, связанных с потреблением энергии, более чем на 20% для реконструкции и новых зданий по сравнению с текущими национальными стандартными практиками;

- разработка и демонстрация готовых к выходу на рынок решений, позволяющих сократить разницу между прогнозируемой и измеренной энергоэффективностью на 10%, возможно, увеличив её до 15% после ввода в эксплуатацию¹.

Конкретные мероприятия, способствующие повышению энергоэффективности зданий, представлены в следующих аспектах:

Для теплонасосных систем:

- снизить затраты на малые и большие тепловые насосы на 50% (по сравнению с рыночной ценой 2015 г.)²;
- разрабатывать сборные, полностью интегрированные гибридные / мультиресурсные теплонасосные системы «подключи и используй» и интегрированные компактные установки отопления / охлаждения на основе модульных тепловых насосов.

Стоит отметить, что сфера применения тепловых насосов в России тоже достаточно активно развивается, благодаря широким перспективам их внедрения. Развитие этой сферы

позволит удешевлять стоимость коммунальных ресурсов при отоплении/кондиционировании жилых домов [6].

Для централизованного теплоснабжения и охлаждения (ЦТО):

- увеличить использование возобновляемых источников тепла на 25% экономически эффективным способом без снижения качества обслуживания потребителей;
- снизить базовые затраты подстанций ЦТО для жилых зданий на 20% (по сравнению с ценами 2015 г.).

Для микрокомбинированной теплоэнергетики (ТЭЦ) / комбинированного охлаждения, обогрева и энергоснабжения (КООЭ):

- снизить затраты на оборудование и монтаж на 50% (по сравнению с рыночной ценой 2015 г.);
- повысить энергоэффективность микро-ТЭЦ / КООЭ на 20% (по сравнению с уровнем 2015 г.) за счёт повышения эксплуатационной электрической эффективности и поддержания тепловой эффективности¹.

Для хранения тепловой энергии:

- повысить производительность надземных и подземных накопителей энергии (энергоэффективность, срок службы системы, эксплуатация и техническое обслуживание) на 25% (по сравнению с уровнем 2015 г.);
- увеличить плотность хранения на системном уровне на 200%¹ (включая насосы, клапаны, трубы, кратковременный буфер) по сравнению с текущим уровнем техники 60 кВт·ч/м³.

Повышение энергоэффективности в зданиях является ключом к достижению углеродной нейтральности к 2050 г. [3]. Эволюция строительного сектора характеризуется такими аспектами, как:

- цифровизация строительства;
- индустриализация / стандартизация процессов;
- устойчивое развитие за счёт соблюдения принципов круговой экономики;
- инновации и оптимизация в отношении

возобновляемых и энергоэффективных систем отопления и охлаждения и их интеграция в здания.

Выводы

Как и в России, зарубежная исследовательская и инновационная деятельность поддерживает основные движущие силы и в преобразовании строительного сектора [7]. Среди планируемых мероприятий:

- 1) новые материалы для зданий;
- 2) сборные активные модули для фасадов и крыш или ключевые технологии, способствующие активной обшивке зданий;
- 3) цифровое планирование и оптимизация эксплуатации;
- 4) энергетические технологии и решения для уменьшения содержания углерода в сплавах.

Большую роль играют и нетехнологичные задачи, поскольку они не менее важны, чем технологические аспекты. К нетехнологичным проблемам относятся:

- согласие пользователей;
- образование и тренинг отдельных лиц / организаций;
- архитектурные проблемы;
- проблемы городского планирования;
- синергия с транспортным сектором.

Анализируя опыт ряда зарубежных стран, можно отметить, что их стратегия заключается

в стимулировании создания высокотехнологичной строительной отрасли, которая превращает энергоэффективность в устойчивый бизнес. Подключение строительной отрасли к поставщикам систем искусственного интеллекта и заинтересованным сторонам стало бы важным шагом в достижении экономических, социальных и экологических целей, в то же время, позволяя зарубежным компаниям стать конкурентоспособными на глобальном уровне в области проектирования, строительства и эксплуатации искусственной среды, одновременно поддерживая экономику своих стран за счёт создания рабочих мест и повышения квалификации кадров.

В конечном счёте эти действия могут создать прочную основу для непрерывных инноваций в строительном секторе посредством формирования устойчивых партнёрских отношений, способствующих созданию инновационной экосистемы, которая не основана на проектах с эпизодической инновационной деятельностью, как это практикуется в настоящее время. При последовательной реализации всех этапов плана к 2030 г. рост и ускорение коллективных исследований и инноваций позволят зарубежному строительному сектору трансформироваться в зрелую, инновационную и энергоэффективную индустрию.

Список источников

1. Carlander J., Thollander P. Barriers to implementation of energy-efficient technologies in building construction projects – Results from a Swedish case study // Resources, Environment and Sustainability. 2023. Vol.11. Pp. 100097. DOI: 10.1016/j.resenv.2022.100097.
2. Zhang S. et al. Potential to decarbonize the commercial building operation of the top two emitters by 2060 // Resources, Conservation and Recycling. 2022. Vol.185. Pp. 106481.
3. Wang X. et al. Low-carbon city and its future research trends: a bibliometric analysis and systematic review // Sustainable Cities and Society. 2022. Vol.90. Pp. 104381.
4. Люке А. Повышение энергоэффективности систем отопления. Развитие рынка, технологические тренды и европейские ориентиры // Энергосбережение. 2019. №2. С. 14-19.
5. Синкина А.Н. Проблемы повышения энергетической эффективности зданий и пути их решения в работах зарубежных и отечественных учёных // Молодой учёный. 2019. №24(262). С. 12-14.
6. Система автономного энергоснабжения жилого дома: пат. RU 2746434 С1 Российская Федерация: F24D 3/00, F24D 3/08, F24D 3/18, H02S 10/00, H02S 10/30 / Сучилин В.А., Кочетков А.С., Губанов Н.Н. №2019142990; заявл. 23.12.2019; опубл. 14.04.2021.
7. Сучилин В.А., Кочетков А.С., Губанов Н.Н. Моделирование и исследование в COMSOL MULTIPHYSICS функциональных характеристик объектов социальной инфраструктуры // Журнал С.О.К. 2022. №11. С. 19-25.

References

1. Thollander, P., & Rosenqvist, J. (2023). Barriers to implementation of energy-efficient technologies in building construction projects — Results from a Swedish case study. *Resources, Environment and Sustainability*, 11, 100097. doi: 10.1016/j.resenv.2022.100097.
2. Zhang, S., Ma, M., Xiang, X., Cai, W., Feng, W., & Ma, Z. (2022). Potential to decarbonize the commercial building operation of the top two emitters by 2060. *Resources, Conservation and Recycling*, 185, 106481.
3. Wang, X., Wang, G., Chen, T., Zeng, Z., & Heng, C. K. (2022). Low-carbon city and its future research trends: a bibliometric analysis and systematic review. *Sustainable Cities and Society*, 90, 104381.
4. Lyuke, A. (2019). Povyshenie energoeffektivnosti sistem otopeniya. Razvitie rynka, tekhnologicheskie trendy i evropejskie orientiry [Improving the energy efficiency of heating systems. Market development, technological trends and European benchmarks]. *Energoberezhenie [Energy saving]*, 2, 14-19. (In Russ.).
5. Sinkina, A. N. (2019). Problemy povysheniya energeticheskoy effektivnosti zdaniy i puti ih resheniya v rabotah zarubezhnyh i otechestvennyh uchenykh [Problems of increasing the energy efficiency of buildings and ways to solve them in the works of foreign and domestic scientists]. *Molodoj uchenyj [Young scientist]*, 24(262), 12-14. (In Russ.).
6. Suchilin, V. A., Kochetkov, A. S., & Gubanov, N. N. (2021). *Sistema avtonomnogo energosnabzheniya zhilogo doma [Autonomous power supply system of a residential building]*: pat. RU 2746434 C1 Russian Federation: F24D 3/00. F24D 3/08. F24D 3/18. H02S 10/00. H02S 10/30 / – №2019142990 ; statement 23.12.2019 ; published 14.04.2021. (In Russ.).
7. Suchilin, V. A., Kochetkov, A. S., & Gubanov, N. N. (2022). Modelirovanie i issledovanie v COMSOL MULTIPHYSICS funktsional'nykh harakteristik ob"ektov social'noj infrastruktury [Modeling and research in COMSOL Multiphysics of the functional characteristics of social infrastructure facilities]. *Journal S.O.K.*, 11, 19-25. (In Russ.).